

Identificación de líneas interespecíficas de cafetos con resistencia a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. y adaptabilidad a la región cafetalera de Puerto Rico^{1,2}

Rocío del P. Rodríguez³, Wigmar González⁴
y Oswaldo Bosques⁵

J. Agric. Univ. P.R. 104(2):165-180 (2020)

RESUMEN

Trece líneas de la colección de germoplasma de café de la Subestación Experimental Agrícola en Adjuntas, las introducciones T-5175 y T-8667 de Costa Rica, y cuatro multilíneas avanzadas del Centro de Investigación de la Roya del Café de Portugal (CIFC) se evaluaron para resistencia a *Hemileia vastatrix* y su adaptación a regiones productoras de café en Puerto Rico. Las evaluaciones se llevaron a cabo en el laboratorio y en siembras establecidas en zonas seleccionadas. Por combinar excelentes características agronómicas y resistencia al patógeno de la roya, se escogieron líneas de “tipo Catimor” y “tipo Sarchimor” luego denominadas ‘Frontón’ y ‘Limani’, respectivamente. La incidencia del grano negro se examinó en frutas rojas, pintas y verdes hechas. La incidencia del grano negro fue significativamente mayor en la selección T-5175 en cafetales a altitudes menores de 300 metros sobre el nivel del mar. Los Catimor del CIFC fueron superiores al testigo ‘Caturra’ en la producción de fruta y en el rendimiento de café pilado.

Palabras clave: café, roya, resistencia, Catimor, Sarchimor, grano negro, producción, rendimiento

ABSTRACT

Identifying interspecific lines of coffee resistant to *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. and evaluating their adaptability to the coffee growing region of Puerto Rico

¹Manuscrito resometido a la Junta Editorial el 16 de junio de 2020.

²Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura (NIFA, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura Federal, Proyectos Hatch 329 y 94 de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Se agradece al Prof. Miguel Monroig Inglés, Especialista en Café retirado, Servicio de Extensión Agrícola, por el esmero y compromiso en la revisión del manuscrito.

³Profesora retirada, Estación Experimental Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico.

⁴Profesor Asociado retirado, Depto. Ciencias Agroambientales, Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico.

⁵Asociado en Investigación, In Memoriam. Estación Experimental Agrícola, Adjuntas, Puerto Rico.

Thirteen lines from the coffee germplasm collection of the Adjuntas Agricultural Experiment Substation, lines T-5175 and T-8667 from Costa Rica, and four advanced multilines from the Portugal Research Center for Coffee Rust (CIFC; 'Centro de Investigación de la Roya del Café de Portugal') were evaluated for resistance to *Hemileia vastatrix* and their performance under coffee production conditions in Puerto Rico. The evaluations were conducted in the laboratory and on selected coffee farms. Lines of "Catimor" and "Sarchimor" types were selected based on their reaction to the rust pathogen and excellent agronomic characteristics and named 'Frontón' and 'Limaní', respectively. Incidence of black beans was examined in red, medium and green beans and was significantly higher in line T-5175, in plantings <300 meters above sea level, and in medium ripe and green fruits. Catimor lines from the CIFC were superior to the check 'Caturra' in fruit production and yield of green coffee.

Key words: coffee, rust, resistance, Catimor, Sarchimor, black beans, production, yield

INTRODUCCIÓN

El café ha sido uno de los cultivos tradicionales de mayor relevancia en la agricultura puertorriqueña. Sin embargo, la disminución de mano de obra diestra, el azote de huracanes y el alza en los costos de producción han incidido negativamente en el progreso de la empresa. En respuesta a estos retos han ocurrido cambios significativos en la extensión de las tierras dedicadas a la caficultura y el modo en que se cultivan los cafetos. La caficultura tradicional del cultivo bajo sombra ha disminuido significativamente, y se favorece el cultivo bajo sol donde el manejo es menos complicado. Igualmente escasea la mano de obra diestra y los trabajadores viviendo en la finca (agregados) lo que aseguraba su disponibilidad para las tareas agrícolas. Del 2012 al 2018 no hubo cambios en la tendencia a producciones menores ya que mientras menos terreno en cultivo, menos cafetos, lo que incide negativamente en la producción por hectárea (Censo Agrícola, 2020).

La enfermedad de la roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, fue detectada en Puerto Rico en febrero de 1989 (Anónimo, 1989). Muestras de uredosporas recolectadas en cápsulas se enviaron al Centro de Investigación de la Roya del Café en Portugal (CIFC, por sus siglas en portugués). Las uredosporas correspondieron a la raza 2 de *H. vastatrix*. Esta enfermedad es considerada de gran importancia debido a las pérdidas económicas que ocasiona (Rodríguez y Monroig, 1991). La enfermedad reduce la cantidad y calidad de la fruta al inducir defoliación interfiriendo con la fotosíntesis y en consecuencia con el vigor de la planta (Kushalappa, 1989; A. Paes-Camargo, Comunicación Personal, IBC, Campinas, Brasil, 1989). En ausencia de control, las pérdidas pueden sobrepasar el 30%, y con los

años, la destrucción de la industria (Thurston, 1984). Al momento de la detección de la roya en los cafetales de Puerto Rico se proyectó 30% de pérdidas cumulativas a los primeros tres años después de ser detectada (Álamo, 1989).

La resistencia es la estrategia más deseable para el control de las enfermedades de las plantas. A pesar de la inversión económica para el desarrollo de plantas resistentes con características agronómicas y de mercado igual o superiores a las variedades susceptibles, la resistencia es la mejor opción ya que minimiza la inversión en otras estrategias de manejo de la enfermedad. La búsqueda de resistencia a *H. vastatrix* se inició en las regiones donde existía variabilidad genética natural en *Coffea arabica*. Se identificaron cafetos promisorios con resistencia a la roya y se obtuvieron cultivares como 'Kent' en la India, 'Wollamo', 'Geisha', 'Dila alghe' y 'Kaffa', en Etiopía y en el sur de Sudán (Bettencourt, 1970).

La plasticidad genética de *H. vastatrix* propicia variaciones en los genes de virulencia y en consecuencia surgen nuevas razas del patógeno, por lo que la resistencia en las selecciones de *C. arabica* fue poco duradera. Híbridos interespecíficos de origen natural o artificial constituyeron una nueva etapa en la búsqueda de resistencia. Líneas de la progenie de retrocruces de híbridos *C. liberica* x *C. arabica* con 'Kent' fueron seleccionadas por combinar niveles de resistencia a razas de la roya y características deseables de vigor, productividad y adaptabilidad a zonas marginales para los arábigos (Narasimhaswamy, 1960). Igualmente los híbridos del cruce interespecífico de *C. arabica* x *C. canephora* inicialmente se produjeron para obtener líneas adaptables a regiones subóptimas para la producción de café (Rodríguez et al., 1975). Posteriormente se desarrollaron variedades que combinaban la adaptabilidad geográfica con resistencia a la roya como 'Icatú' en Brasil, retrocruce del híbrido *C. arabica* x *C. canephora* con 'Mundo Nuevo' (Carvahlo y Mónaco, 1971) y 'Arabusta' en África, producto del cruce entre *C. arabica* x *C. canephora* var. Robusta (Capot, 1972).

El descubrimiento del 'Híbrido de Timor', un cruce natural entre *C. arabica* y *C. canephora*, y las selecciones de su progenie con resistencia específica a las razas conocidas de la roya del café, constituyó un progenitor muy importante para el mejoramiento genético del café. El CIFC desarrolló un activo y efectivo programa de fitomejoramiento mediante la identificación de cafetos con factores genéticos de resistencia (FR) a razas fisiológicas del patógeno. La selección de progenies promisorias de los híbridos de cruces entre 'Caturra' y el 'Híbrido de Timor', resistentes a *H. vastatrix* y homocigotas para tamaño, fueron inicialmente examinadas en Brasil donde los nombraron "Catimor" (Bettencourt, 1981).

La colaboración científica entre el CIFIC y los institutos de investigación de los países productores de café fue exitosa en desarrollar líneas del cruce del ‘Híbrido de Timor’ con ‘Caturra’ o con ‘Vila Sarchi’, denominadas “tipos Catimor” o “Sarchimor”, respectivamente. Ejemplo de estos esfuerzos fue la liberación de las variedades ‘Costa Rica 95’ (Cisneros et al., 2000) e ‘IHCAFE90’ (Instituto Hondureño del Café, 1991), ambas “Catimor” con resistencia a la roya y excelentes características agronómicas y de mercado. Con el propósito de aumentar la variabilidad genética y propiciar la estabilidad de la resistencia, se han desarrollado y liberado multilíneas para siembras comerciales. Entre estas multilíneas están la ‘Colombia’ de “tipo Catimor” (Moreno-Ruiz y Zapata, 1984) y la ‘TABI’, multilínea de los cruces entre el ‘Híbrido de Timor’ con ‘Típica’ y ‘Bourbon’, con cafetos de porte alto y mayor tamaño de grano muy promisorio para el mercado de los cafés especiales (Moreno-Ruiz, 2002).

En la Subestación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico localizada en el municipio de Adjuntas (EEA-Adjuntas) se mantuvo una colección de variedades y líneas de cafetos obtenidos del Instituto Agronómico de Campinas Brasil (IACB). En estudios llevados a cabo con esta colección se identificaron varias líneas promisorias por caracteres agronómicos deseables.

Inmediatamente que se detectó la roya en Puerto Rico, se introdujeron desde Costa Rica las líneas “tipo Catimor” T-5175 y T-8667 para evaluación en regiones de siembra comercial de café en la Isla. En el primer año de producción se observó alta incidencia de caída prematura de la fruta. Indistintamente del estado de madurez, la condición se caracteriza por frutas de apariencia normal pero con cotiledones negros y podridos.

Con el interés de proveer alternativas para el manejo de la roya del café, se examinaron líneas promisorias de la colección en la EEA-Adjuntas para resistencia a la enfermedad. Líneas “tipo Catimor” del CIFIC y las T-5175 y T-8667 se evaluaron en varias regiones para determinar la adaptabilidad a las condiciones de la caficultura en Puerto Rico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trece selecciones de la colección de germoplasma de cafetos se evaluaron en el laboratorio y en el campo para su reacción al inóculo natural de *H. vastatrix*. Las muestras se tomaron de la población existente en un ensayo de distancias de siembra localizado en la EEA-Adjuntas. Se utilizaron las parcelas experimentales del tratamiento de siembra a 1.8 m x 1.8 m con tres repeticiones y 10 cafetos por parcela. Como testigo susceptible se utilizó ‘Caturra’ y como resistente, el ‘Híbrido de Timor’.

En el laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez se realizaron pruebas *in vitro* utilizando la técnica de discos de hojas de Eskes (1982). Del tercio medio de ocho cafetos se seleccionaron ramas al azar y del 3^{er} o 4^{to} nudo se tomaron dos muestras de hojas de apariencia sana. Las hojas se lavaron con agua corriente, se secaron con papel absorbente y, con un sacacorcho de 2 cm de diámetro, se cortaron dos discos del centro de la lámina de la hoja equidistantes de la vena central. Los discos se colocaron sobre laminillas, previamente esterilizadas en autoclave, contenidas en un sistema de cámara húmeda compuesto por cajas plásticas con papel absorbente humedecido con agua destilada estéril. Las pruebas se llevaron a cabo en cuatro cajas donde en cada caja estaban representadas todas las selecciones distribuidas al azar. Estas pruebas se repitieron tres veces utilizando las tres repeticiones del ensayo de campo.

Las inoculaciones se realizaron con uredosporas recolectadas de hojas con roya obtenidas de cafetales en la EEA-Adjuntas. Para la recolección del inóculo se seleccionaron lesiones esporulantes activas sin necrosis o micelio de hiperparásitos. Se preparó una suspensión de uredosporas en agua destilada estéril a razón de 1.5 mg/ml y se agitó por un minuto. Previo a cada inoculación la suspensión se agitó manualmente por unos segundos. El centro de cada disco se inoculó con 20 μ l de la suspensión utilizando una micropipeta. Las cajas se colocaron bajo condiciones de obscuridad por 48 h, al final de las cuales se mantuvieron en el laboratorio por un mes bajo luz difusa y a 24° C. Las cámaras se mantuvieron húmedas rociando el papel absorbente con agua destilada estéril cuidando de no humedecer los discos inoculados, los cuales se observaron periódicamente para presencia o ausencia de síntomas. Las reacciones positivas para susceptibilidad fueron clorosis y esporulación en el área inoculada. El potencial de inóculo de la suspensión preparada se estimó con el porcentaje de esporas germinadas. En placas finas de agar agua se distribuyeron 20 μ l de la suspensión de uredosporas y se incubaron por 48 h en obscuridad. Al finalizar el período de incubación se determinó el porcentaje de uredosporas germinadas.

La reacción de las líneas bajo condiciones de campo se examinó utilizando los cafetos en las parcelas a la distancia de siembra ya seleccionada. Durante el período de estudio cada cafeto se examinó para determinar la presencia o ausencia de síntomas. La extensión de la infección por el cafeto se determinó con la escala I de Eskes y Toma-Branghini (1981), donde se evalúa toda la planta. Los niveles en la escala van de 0 a 9 donde: 0 = no se observan lesiones, y 9 = lesiones presentes por todo el cafeto con abundante esporulación y defoliación.

Líneas avanzadas "tipo Catimor" provenientes del CIFC se evaluaron para adaptación y reacción al inóculo natural presente en fincas de la zona

cafetalera localizadas a diferentes altitudes, medidas en metros sobre el nivel del mar (msnm). Tres de las siembras se establecieron en fincas privadas ubicadas en los municipios de Orocovis (770 msnm), San Sebastián (340 msnm) y Lares (560 msnm), y la cuarta en la EEA-Adjuntas (594 msnm). Los tratamientos consistieron de cuatro líneas y 'Caturra' como testigo, arreglados en un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. La parcela experimental consistió de dos hileras de cinco plantas sembradas a la distancia de 1.8 m x 2 m. Entre bloques se dejaron 2.5 m de separación. Cada cuatro meses se visitaron las siembras para evaluación y seguimiento de las prácticas de manejo recomendadas en ese momento (Estación Experimental Agrícola, 1995).

La recolección de la fruta se realizó a mano, con tres a cuatro cosechas parciales. La producción por hectárea se estimó tomando el promedio de producción por parcela de acuerdo al número de cafetos presentes, extrapolando a la producción por hectárea con una población de 1,762 plantas. Para determinar el rendimiento se procesaron 3.2 kg de fruta madura de la segunda o tercera cosecha parcial. El secado de la muestra se realizó en un secador Modelo Guardiola a 48.9° C hasta llegar a un porcentaje de humedad final de 10 a 12%. El peso se tomó después de pilada la muestra, para estimar el rendimiento de café pilado en kg por hectárea.

Las selecciones T-5175 y T-8667 se evaluaron para incidencia de grano negro. Se identificaron agricultores privados en los municipios de Moca, Mayagüez, San Sebastián, Lares, Las Marías, Mariacao, Adjuntas, Utuado, Ciales, Jayuya y Ponce. Se midió la altitud del área donde estaban las siembras y se agruparon de acuerdo a tres rangos: menor de 300; 350 a 600; y mayor de 600 msnm. Para el muestreo se seleccionó un predio con 450 cafetos y se separó del resto de la siembra marcándolo en cuatro puntos con estacas de madera. La muestra se tomó de 22 cafetos seleccionados al azar siguiendo un patrón en forma de 'W' y marcados en su tope con cintas plásticas de color brillante. Las líneas y los rangos de altitud tuvieron tres repeticiones representadas por las fincas seleccionadas para el muestreo.

En la 1^{ra}, 2^{da} y 3^{ra} cosecha parcial se cosecharon a mano frutas maduras (rojas y pintas) hasta tener la muestra básica de 3.6 a 4.5 kg. También se tomó por separado una muestra de frutas verdes hechas. Las muestras se enviaron a la EEA-Adjuntas identificadas con el nombre del agricultor, localidad, fecha de recolección, número de la cosecha parcial, línea evaluada y firma del agrónomo a cargo de la muestra. La salud de los granos de café se examinó por separado utilizando una muestra de 100 frutas para cada tipo cosechado: roja, pinta y verde

hecho. La incidencia de grano negro se determinó al cortar la fruta transversalmente por la mitad y la de grano vano por flotación en agua. Para el rendimiento, se utilizó como criterio el peso del café procesado según descrito anteriormente. El efecto de las variables se examinó utilizando el análisis de varianza. Para el análisis estadístico, los datos en por cientos se transformaron con la raíz cuadrada y se presentan como los cuadrados de los transformados. La comparación de las medias se realizó utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) a $P < 0.05$ y la relación entre las variables se determinó por correlación.

RESULTADOS

El germoplasma seleccionado de la colección de café en Adjuntas mostró variaciones en la reacción a las inoculaciones in vitro con *H. vastatrix* (Cuadro 1). Las líneas "tipo Sarchimor" LC-1668 y LC-1669 consistentemente tuvieron reacciones de resistencia similares a las obtenidas en el testigo resistente. Las líneas C1668-29-3 y C-1661-1 mostraron cierto grado de resistencia con interacción débil con el patógeno evidenciado por 3% y 7% de discos con clorosis, respectivamente. Estos síntomas nunca evolucionaron a esporulación y en algunos casos mostraron síntomas de lesiones abortivas o pecas en asociación con la clorosis. Un mes después de la inoculación los discos de 'Icatú' y 'Catuaí Vermelho' mostraron reacciones de susceptibilidad similares al testigo susceptible 'Caturra' con 50%, 70% y 100% de los discos con clorosis y evolución de algunas lesiones a esporulación. Las líneas restantes mostraron variaciones en las reacciones positivas a la inoculación con *H. vastatrix*. La germinación de las uredosporas inoculadas fluctuó entre 64% y 88%.

La evaluación de las líneas a la infección natural mostró variaciones de las tendencias obtenidas en las inoculaciones in vitro, particularmente expresadas en la intensidad de la infección (Cuadro 1). Las líneas LC-1668 y LC-1669, con resistencia in vitro, se comportaron de manera similar en el campo pero otras, como 'Catuaí Vermelho', in vitro mostraron porcentajes altos de clorosis y en el campo mostraron poco o ningún síntoma de roya (Cuadro 1). Los testigos 'Híbrido de Timor' y 'Caturra' mantuvieron consistencia en su reacción a la inoculación indistintamente del sistema de evaluación.

En todas las localidades, las líneas del CIFC de Portugal consistentemente mostraron resistencia a *H. vastatrix* y 'Caturra' mostró la susceptibilidad esperada en la interacción con el inóculo presente en el campo (Cuadro 2). Los niveles de infección aumentaron con los años siendo más altos al final de las pruebas cuando solamente se evaluaron las siembras en las localidades de Adjuntas y San Sebastián. Las

CUADRO 1.—*Reacción de cultivares y líneas de café derivadas de cruces interespecíficos introducidos del Instituto Agronómico de Campinas en Brasil (IACB) a inoculaciones in vitro y a la infección natural por Hemileia vastatrix.*

Número de Acceso	Generación	Cruce	Reacción		
			(FR) ¹	Discos con Clorosis (%)	Infección natural ²
LC 1668	F ₆	Vila Sarchi x HT ³	(3)	0	0
LC 1669	F ₆	Vila Sarchi x HT	(3)	0	0
C 1668-29-3	F ₅	Vila Sarchi x HT	(4)	3	0
C 1661-1	F ₄	Caturra x HT	(5)	7	0
C 2477-11	F ₆	Caturra x HT	(3)	13	0
C 2498-6	F ₆	Catuai A. x HT	(3)	15	5
C 1684-1	F ₄	S 333 x Dilla & Alghe	(2)	15	0
C 2503-2	F ₆	Catuai x (MN x Catimor)	(3)	16*	2
C 1715-4	F ₄	Caturra x HT	(4)	25	0
LC 1662-53	F ₆	Caturra x HT	(3)	26*	2
LCH 4782-10	F ₅	Icatú	(3)	50*	5
C 2543-2	F ₆	Catuai Vermelho	(1)	80*	1
C 2543-4	F ₆	Catuai Vermelho	(1)	100*	5
Testigo resistente	F ₄	Híbrido Timor (HT)	(5)	0	0
Testigo susceptible		Caturra		100*	7

¹Número estimado de factores de resistencia.

²Clasificación visual basada en la escala 0 al 9 de Eskes y Toma-Braghini (1981) donde 0 = no se observan lesiones, y 9 = lesiones presentes por todo el café con abundante esporulación y defoliación.

³HT=Híbrido de Timor

* Lesiones esporulantes en discos inoculados.

CUADRO 2.—*Severidad de la infección de roya en cuatro ensayos evaluativos para adaptabilidad de multilíneas avanzadas (F₈) "tipo Catimor" desarrolladas en el Centro de Investigación de la Roya del Café en Portugal (CIFC).*

Genotipo	Mezcla de semilla ¹			Localidad							
	Grupo A	Grupo 1	Adj	Primer Muestreo			Segundo Muestreo				
				SS	Lar	Oro	Adj	SS	Lar	Oro	
CIFC 7963	68.4%	31.6%	0.00 ³	—	—						
CIFC 7960	77.7%	22.3%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
CIFC 7961	70.0%	30.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
CIFC 7962	47.9%	52.1%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
Caturra			0.03	4.95	0.05	0.41	3.00	7.00		—	—

¹Grupo A= semillas de cafetos resistentes a todas las razas de la colección del CIFC, Grupo 1=semillas de cafetos resistentes a 29 razas de la colección del CIFC.

²Adj= Adjuntas, SS= San Sebastián, Lar= Lares, Oro= Orocovis. El segundo muestreo se realizó luego de cuatro años de haber realizado el primero. Para este muestreo las siembras de Orocovis y Lares se eliminaron debido a problemas de acidez del suelo, resiembras por el agricultor y manejo de fertilizantes no recomendados.

³Promedio de la clasificación de 40 cafetos utilizando la escala I de Eskes y Toma-Braghini (1981) donde 0 = no se observan lesiones y 9 = lesiones presentes por todo el café con abundante esporulación y defoliación.

siembras de Orocovis y Lares se eliminaron debido a problemas de acidez del suelo, resiembras por el agricultor y manejo de fertilizantes no recomendados. Estas prácticas incorporaron variables no deseadas para la comparación del comportamiento de las selecciones entre las localidades.

La producción de fruta y el rendimiento de café pilado por hectárea fueron significativamente mayores en la siembra de San Sebastián (Cuadro 3). Las líneas CIFIC-7963 y CIFIC-7960 mostraron tendencias a tener mejor producción y rendimiento por hectárea que la CIFIC-7961 y CIFIC-7962. No hubo diferencias significativas en el rendimiento por kg de fruta cosechada entre localidades o genotipos. La producción y rendimiento por hectárea de las introducciones fue significativamente mayor a la de 'Caturra'.

La incidencia de grano negro está influenciada por la altitud, la línea y la etapa de madurez de la fruta. En siembras a altitudes menores de 300 msnm la incidencia fue significativamente mayor y disminuyó significativamente en las localizadas a altitudes sobre los 600 msnm (Cuadro 4). Hubo interacción significativa entre la línea y la altitud. A medida que aumenta la altitud disminuye la incidencia de grano negro, la que a su vez fue significativamente mayor en la T-5175. En las frutas rojas la incidencia del grano negro fue significativamente menor que en las pintas y verdes, las cuales no se diferenciaron entre sí, y no hubo efecto significativo del pase de cosecha (Cuadro 5). La incidencia del grano negro correlaciona negativa y significativamente con el rendimiento (Cuadro 6).

La incidencia de la fruta vana no está influenciada por la línea o por la altitud pero sí por la madurez de la fruta cosechada (Cuadros 4 y 5). Aunque los valores se mantuvieron por debajo del 5%, hubo mayor incidencia de frutas vanas en las maduras rojas que en las pintas o verdes hechas. La incidencia de las frutas vanas en combinación con la de los granos negros incide de forma significativa y adversa en el rendimiento (Cuadro 6).

DISCUSIÓN

Se identificaron materiales muy prometedores que reúnen características agronómicas deseables con resistencia a *H. vastatrix*. Líneas como LC-1668, LC-1669, C-1668-29-3 y C-1661-1 constituyen un recurso muy importante para el manejo de la enfermedad. La interacción observada entre *H. vastatrix* y las últimas dos selecciones muestra un tipo de resistencia que no presiona excesivamente la población natural del patógeno. Las lesiones abortivas y pecas observadas en varios discos inoculados han sido informadas como reacciones de hipersensibilidad que impiden el progreso de la infección (Silva et al., 2002).

CUADRO 3.—Producción de fruta y rendimiento en café pilado de multilíneas avanzadas (F₀) “tipo Catimor” introducidas del Centro de Investigación de la Roya del Café en Portugal (CIFC).¹

Genotipos	kg de fruta cosechada por ha			g de café pilado por kg de fruta cosechada			kg de café pilado por ha		
	Adjuntas	Sebastián	Promedio ²	Adjuntas	Sebastián	Promedio ²	Adjuntas	Sebastián	Promedio ²
CIFC 7963	28,109	30,920	29,515 a	142	142	142 a	4,039	4,385	4,212 a
CIFC 7960	23,198	28,787	25,993 ab	153	146	150 a	3,577	4,270	3,924 a
CIFC 7961	21,097	27,236	24,167 b	153	150	152 a	3,231	4,039	3,635 ab
CIFC 7962	18,061	25,524	21,793 b	142	142	142 a	2,529	3,693	3,116 b
Caturra	13,505	19,450	16,478 c	153	142	148 a	2,077	2,539	2,308 c
Promedio ³	20,794 a	26,383 b		149 a	144 a		3,116 a	3,808 b	

¹Promedio de cinco años de cosecha.

²En cada sección, promedios en la columna con letras diferentes difieren a P<0.05 con la prueba DMS.

³En cada sección promedios en la hilera con letras diferentes difieren a P<0.05 con la prueba DMS.

CUADRO 4.—Porcentaje de grano negro y fruta vana de café en líneas “tipo Catimor” sembradas a varios rangos de altitud.

Altitud ¹	Línea		Promedio
	T5175	T8667	
	Grano Negro		
<300	64.0 a ²	23.7 a	43.9 a
350 a 600	42.4 b	7.6 b	25.0 b
>600	9.1 c	3.9 c	6.5 c
Promedio	38.5 A ³	11.7 B	
	Fruta Vana		
<300	2.3 a ²	1.9 a	2.1 a
350 a 600	3.0 a	2.8 a	2.9 a
>600	4.8 a	2.5 a	3.7 a
Promedio	3.4 A ³	2.4 A	

¹Metros sobre el nivel del mar.

²En cada sección promedios en columna con letras minúsculas diferentes difieren al nivel P<0.05 con la prueba DMS.

³En cada sección promedios en hilera con letras mayúsculas diferentes difieren al nivel P<0.05 con la prueba DMS.

Las introducciones de Portugal mostraron consistentes reacciones de resistencia a la presencia de *H. vastatrix*. En ambos estudios, la incidencia de roya y la defoliación en el testigo susceptible ‘Caturra’ muestran que los resultados no son escape a la enfermedad sino resistencia a la misma. También mostraron excelente adaptabilidad a la región cafetalera de Puerto Rico, en especial la CIFC-7963 y CIFC-

CUADRO 5.—Efecto de la madurez de la fruta y la cosecha parcial en la incidencia del grano negro y la fruta vana de café.

Etapa	Incidencia (%)	
	Grano Negro	Fruta Vana
	Madurez de la fruta	
Roja	13.8 a ¹	4.5 a
Pinta	21.9 b	2.4 b
Verde hecha	25.3 b	1.9 b
	Cosecha parcial	
1 ^{er} Pase	23.2 a ¹	2.9 a
2 ^{do} Pase	15.3 a	3.1 a
3 ^{er} Pase	22.4 a	2.5 a

¹En cada sección los promedios en columnas con letras diferentes difieren a P<0.05 con la prueba DMS.

CUADRO 6.—Relación entre la incidencia de problemas en el grano de café y las variables examinadas.

Incidencia	Rendimiento	Altitud	Línea	Pase
Grano negro	-0.71**	-0.66**	-0.60**	-0.04
Fruta vana	-0.45**	-0.19	-0.13	-0.05
Grano negro + fruta vana	-0.77**	-0.60**	-0.67**	-0.06

**Coeficiente de correlación en hilera significativo a $P < 0.01$.

7960. Esta última línea en particular fue reportada por Fernández et al. (1989) superior a todas las poblaciones por ellos evaluadas. En general las selecciones del CIFC fueron superiores al testigo en producción y en el rendimiento por hectárea pero no en el rendimiento por kilogramo de fruta. Este hecho sugiere que las diferencias encontradas en la producción y/o rendimiento por hectárea no reflejan exclusivamente diferencias agronómicas o de vigor híbrido sino que la infección y su efecto defoliativo constituye un factor que incide negativamente en el comportamiento de la variedad testigo.

A través de los años se ha confirmado la poca estabilidad de la resistencia debido a la variabilidad en razas de *H. vastatrix*. Várzea et al. (2002), citado por Hiroshi Sera (2007), informa que existen 40 razas fisiológicas, algunas de ellas con varios genes de virulencia. Así como se originan las variedades resistentes, así sucumben a nuevas razas de la roya sin importar a cuántas razas fueron expuestas para la selección (Rayner, 1960). En Colombia los estudios llevados a cabo por Alvarado-Alvarado y Moreno-Ruiz (2005) evidencian cambios en la composición de genes de virulencia en la población de *H. vastatrix* reflejados en aumento de cafetos susceptibles en el cultivar 'Colombia'. Cristancho-Ardila et al. (2007) encontraron gran diversidad genética en las razas que se encuentran en Colombia. Estos investigadores presumen que desde el 1983, año en que se detectó la enfermedad en los cafetales colombianos (Schieber y Zentmyer, 1984), ha existido margen para diversificación en nuevas razas producto de mutaciones y recombinaciones asexuales.

Tradicionalmente la búsqueda de resistencia en el cafeto se ha fundamentado en la identificación de genes dominantes diferentes, que se identifican como factores de resistencia. Noronha-Wagner y Bettencourt (1967) identificaron cuatro factores de resistencia y Del Grossi et al. (2013) identificaron en diferentes genotipos de cafetos nueve genes dominantes que se clasifican del S_H1 a S_H9 . La fragilidad de la resistencia específica y la evolución de las razas fisiológicas de *H. vastatrix* ha propiciado la búsqueda de otros tipos de resistencia. Cadena-Gómez y Céspedes (1980) identificaron resis-

tencia no específica en *Coffea canephora* var. Conilón expresada en menor índice de infección y defoliación. Santacreo (1989) identificó este tipo de resistencia en cafetos “tipo Catimor” y en el arábigo ‘Dilla S. Alghe’ asociada con las etapas del desarrollo de la infección. Castillo Zapata y Alvarado Alvarado (1997) añaden el balance del follaje como otro parámetro que identifica este tipo de resistencia. Kukhang et al. (1993) sugieren que la resistencia de cafetos con el factor S_H3 es más compleja de lo que puede ser explicada por un gen dominante. Líneas “tipo Catimor” con componentes de resistencia no específica es la base de ‘Castillo’, multilínea seleccionada para diferentes regiones de la caficultura colombiana (Duque-Orrego et al., 2005).

Desde su desarrollo, la evaluación de líneas “tipo Catimor” ha sido parte integral de los programas de fitomejoramiento. Estos cafetos desarrollan mucho follaje, gran volumen de copa y producción precoz. La abscisión excesiva y prematura de frutas verdes con grano negro observada en las siembras de las líneas T-5175 y T-8667 se asocia con deficiencias de carbohidratos (Alvim, 1958). Aunque esta condición es común en los cafetos, la alta incidencia detectada en la T-5175 evidencia una deficiencia inherente a la línea que se intensifica en altitudes menores de 600 msnm. En estudios comparativos realizados por Cisneros et al. (2000) se encontró que la T-5175 fue muy inferior a los cultivares comerciales ‘Caturra’, ‘Catuai’, y ‘CostaRica95’ mostrando menor rendimiento y pobre calidad de taza. La línea T-8667 mostró mejor adaptación a nuestra caficultura y puede ser una alternativa para siembras de cafetos en zonas >600 msnm, más apropiadas para su cultivo, ya que el porcentaje de frutas vanas o de granos negros no sobrepasa el nivel aceptable de 5% (Wintgens, 2004). El efecto negativo de la incidencia del grano negro en el rendimiento detectado por la correlación negativa y significativa, se asocia con la pérdida de los cotiledones de la fruta (Cuadro 6.). Así mismo, la baja incidencia del grano negro en las frutas maduras, se asocia a la caída prematura de las frutas verdes, que impide que lleguen a la madurez y a la cosecha (Cuadro 5).

La introducción y evaluación de genotipos de café que provean diversidad genética en los cafetales es una actividad dinámica y constante. La estabilidad en el porte, vigor, producción, características de grano, rendimiento, y reacción a la población de *H. vastatrix* fueron los criterios aplicados para escoger las líneas avanzadas “tipo Catimor” C-1661-1 y “tipo Sarchimor” LC-1668 luego denominadas como ‘Frontón’ y ‘Limani’, respectivamente. Estas líneas constituyen un recurso valioso para el manejo de la roya del café en las zonas en las que fueron evaluadas.

LITERATURA CITADA

- Álamo, C., 1989. Economic impact of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) in Puerto Rico. Special report submitted on May 30 to Mobay Chemical Corporation, 5pp.
- Alvarado-Alvarado, G. y L.G. Moreno-Ruiz, 2005. Cambio de la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. *Cenicafé* 56:110-126.
- Alvim, P. de T., 1958. Recientes progresos en nuestro conocimiento del árbol de café. I. Fisiología. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field* 81(11): 11-23.
- Anónimo, 1989. Hay roya del café en Puerto Rico. *Revista del Agricultor* 3(2): 12-14.
- Bettencourt, A.J., 1970. Mejoramiento del café en relación a la resistencia a la roya. Mecanismo genético de la resistencia. *Revista Cafetalera*, Guatemala. Junio: 29-38.
- Bettencourt, A.J., 1981. Melhoramento Genético do Cafeeiro. Transferencia de factores de resistencia a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. para as principais cultivares de *Coffea arabica* L. Junta de Investigações Científicas do Ultramar, Rue de Junqueira, 86-1300 Lisboa.
- Cadena-Gómez, G. y P.B. Céspedes, 1980. Expresión de resistencia horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.) en *Coffea canephora* variedad Conilón. *Cenicafé* 31: 3-28.
- Capot, J., 1972. L'amélioration du caféier en Cote d'Ivoire. Les hybrides "Arabusta". *Café, Cacao, Thé* 16: 3-18.
- Carvalho, A. y L.C. Mónaco, 1971. Melhoramiento do cafeeiro visando a resistencia a la ferrugem alaranjada. *Cienc. Cult. Sao Paulo*, 23:141-146.
- Castillo-Zapata, J. y G. Alvarado-Alvarado, 1997. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo las condiciones de campo en la región central de Colombia. *Cenicafé* 48: 40-58.
- Censo Agrícola-Puerto Rico Data- 2018, 2020. Island and Regional Data. USDA National Agricultural Statistics Service. Volume 1 Geographic Area Series Part 52 AC-17-52, Issued June 2020.
- Cisneros, D., Bernal, J.E. Arias V., C. Fonseca C., G. Ramírez R. y J.J. Obando J., 2000. Estudio del comportamiento agroproductivo de los materiales genéticos Caturra, Variedad Costa Rica 95, Catuai y Catimor T5175 en ocho zonas cafetaleras de Costa Rica. *Memorias XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura*, Costa Rica, 243-250.
- Cristancho-Ardila, M.A., C. Escobar-Ochoa y J.D. Ocampo-Muñoz, 2007. Evolución de razas de *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58: 340-359.
- Del Grossi, L., T. Sera, G. Hiroshi Sera, I.C. de Batista Fonseca, D. Shiguer Ito, L. Harumi Shigueoca, E. Andreazi y F. Gimenez Carvalho, 2013. Rust resistance in arabic coffee cultivars in northern Paraná. *Braz. Arch. Biol. Technol.* Vol. 56, No. 1.
- Duque-Orrego, H., H.E. Posada-Suárez y G. Alvarado-Alvarado, 2005. Análisis económico de la adopción de las variedades Castillo Regionales resistentes a la roya. *Cenicafé* 56: 197-215.
- Eskes, A.B. y M. Toma-Braghini, 1981. Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). *FAO, Boletín Fitosanitario* 29: 56-66.
- Eskes, A.B., 1982. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). *Neth. J. Path.* 88: 127-141.
- Estación Experimental Agrícola, 1995. Conjunto Tecnológico para la Producción de Café. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Estación Experimental Agrícola. Publ.104.
- Fernández, A.R., B. González-Bustamante, L.V. García Ortiz y S. Hernández Acosta, 1989. Comportamiento de poblaciones Catimor F5 y F6 serie 7900 en el estado de Oaxaca, México. *Memorias VIII Reunión Regional de Mejoramiento Genético del Café*. San Pedro Sula, Honduras, 4-8 Septiembre 1989.
- Hiroshi Sera, G., T. Sera, D. Shiguer Ito, J. Alves de Acevedo, J. Siqueira da Mata, Saori Dói, C. Ribeiro Filho y F. Seidi Kanayama, 2007. Resistance to leaf rust in coffee carrying S_H3 gene and others S_H genes. *Braz. Arch. Biol. Techno.* 50 (5):753-57.
- Instituto Hondureño del Café, 1991. Una nueva variedad de café con resistencia genética a la roya (*H. vastatrix* Berk & Br.). *Boletín de PROMECAFE, IICA*, No.52-53, 15-18.

- Kukhang, T.D., S. Mawardi y A.B. Eskes, 1993. Studies on the inheritance of the SH3 resistance factor to coffee leaf rust. Proceedings ASIC, 15th Colloque, Montpellier, 776-778.
- Kushalappa, A.C., 1989. Biology and Epidemiology. *En: Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management*. A. C. Kushalappa y A. B. Eskes eds. CRC Press. Pp. 13-80.
- Moreno-Ruiz, G., 2002. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafé* 53: 132-134.
- Moreno-Ruiz, G. y J.C. Zapata, 1984. La Variedad Colombia. Una variedad de café con resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk y Br.). *Cenicafé, Boletín Técnico* No.9, 22pp.
- Narasimhaswamy, R.L., 1960. Arabica selection S795. Its origin and performance. A study. *Indian Coffee* 24: 197-204.
- Noronha-Wagner, M. y A. J. Bettencourt, 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust: I. Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. *Can. J. Bot.* 45(11): 2021-2031.
- Rayner, R. W., 1960. Rust disease of coffee. *En: World Crops, 3-Resistance*, 261-264.
- Rodríguez, R. y M. Monroig, 1991. Coffee rust in Puerto Rico. *Phytopathology* 81:699.
- Rodrigues, C.J., A.J. Bettencourt y L. Rijo, 1975. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review of Phytopathology* 49-70.
- Santacreo, P.R., 1989. Evaluación del nivel de resistencia horizontal a *Hemileia vastatrix* de *Coffea arabica* y Catimor. *Turrialba* 39: 377-386.
- Schieber E. y G.A. Zentmyer, 1984. Distribution and spread of coffee rust in Latin America, *In Coffee Rust in the Americas*, ed. R. H. Fulton. American Phytopathological Society 1-14.
- Silva, M.C., M. Nicole, L. Guerra-Guimares y C.J. Rodrigues Jr., 2002. Hypersensitive cell death and post-haustorial defense responses arrest the orange rust (*Hemileia vastatrix*) growth in resistant coffee leaves. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 60: 169-183.
- Thurston, H.D., 1984. *Tropical Plant Diseases*. The American Phytopatological Society. St. Paul. Minn. Pp. 123-129.
- Wintgens, J.N., 2004. Coffee propagation: Propagation by seeds. *In: Coffee Growing, Processing, Sustainable Production*. J.N. Wintgens ed. Wiley-VCH, Verlag GmbH & KGaA, pág. 89.